

**EVALUACIÓN DEL ÁREA DE EXPANSIÓN DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE
PUERTO LÓPEZ-META, POR MEDIO DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL**



AUTOR

SANDRA PATRICIA MONTEALEGRE AMÉZQUITA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

ESPECIALISTA EN GEOMATICA

Director:

FRANCISCO JAVIER BRICEÑO ZULUAGA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ESPECIALIZACION EN GEOMATICA

BOGOTÁ, 27 FEBRERO 2021



EVALUACIÓN DEL ÁREA DE EXPANSIÓN DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ-META, POR MEDIO DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL

EVALUATION OF THE EXPANSION AREA OF FOREST PLANTATIONS IN PUERTO LÓPEZ-META, BY MULTITEMPORAL ANALYSIS

Sandra Patricia Montealegre Amézquita
3101512
Ingeniera Forestal

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
DICIEMBRE DE 2020
BOGOTÁ-COLOMBIA**

EVALUACIÓN DEL ÁREA DE EXPANSIÓN DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN DE PUERTO LÓPEZ-META, POR MEDIO DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL

EVALUATION OF THE EXPANSION AREA OF FOREST PLANTATIONS IN PUERTO LÓPEZ-META, BY MULTITEMPORAL ANALYSIS

Sandra Patricia Montealegre
Magister en Ciencias Forestales, Ingeniera Forestal
Bogotá, Colombia
Sandramont2@hotmail.com

RESUMEN

En la última década, el municipio de Puerto López, ubicado en el departamento de Meta, viene presentando un crecimiento en el área con plantaciones forestales comerciales gracias a los incentivos a la reforestación, otorgados por el gobierno. El presente estudio tiene como objetivo evaluar la expansión del área cultivada con plantaciones forestales de las especies: *Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus sp.* y *Hevea brasiliensis*, entre los años 2016 y 2020. Para el estudio se realizó un análisis multitemporal por teledetección, teniendo como insumos imágenes satelitales tipo Sentinel-2, a partir de las cuales se realizó una clasificación supervisada por el método de "Máxima Verosimilitud". Los resultados del análisis muestran un crecimiento de los cultivos forestales en el municipio de Puerto López, con un aumento de 5.390 ha entre el 2016 y 2020 para un total de 24.658 ha, donde el *Hevea brasiliensis* presentó el mayor crecimiento en área.

Palabras Clave: Análisis multitemporal, teledetección, plantaciones forestales.

ABSTRACT

Puerto López located in the department of Meta, the last decade has been experiencing growth in the area with commercial forest plantations, induced by the government reforestation incentives. The objective of this study is to evaluate the expansion in the cultivated area of forest plantations with: *Acacia mangium* Willd., *Pinus caribaea* var. hondurensis, *Eucalyptus sp.* and *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg., in the years 2016 and 2020. Multitemporal analysis by remote sensing was used in the study with Sentinel-2 satellite images as inputs. The supervised classification was used by the "Maximum Likelihood" method. The results of the analysis show a increase of forest crops in Puerto López, of 5,390 ha between 2016 and 2020 for a total of 24,658 ha, where rubber presents the highest growth of the area.

Keywords: Multitemporal analysis, remote sensing, forest plantations.

INTRODUCCIÓN

En Colombia existen aproximadamente 24.8 millones de hectáreas aptas para el establecimiento de plantaciones comerciales, que corresponden al 21.8% del territorio nacional continental [1]. Pese al gran potencial forestal, al 2018 el área plantada en el país tan solo alcanzó las 516.461 hectáreas [2]. En los últimos años, el gobierno y los empresarios de la cadena forestal han realizado grandes esfuerzos por fomentar el crecimiento del sector, sin embargo, no se ha logrado ampliar su capacidad productiva, haciendo que el sector del mueble y la madera este presentando una balanza comercial negativa, con una reducción de las exportaciones al mismo tiempo que un aumento de las importaciones [3].

Entre las regiones con mayor área potencial para el desarrollo de núcleos forestales comerciales en Colombia, está la Orinoquía, con departamentos como Meta y Vichada que cuentan con más de 2.5 millones de hectáreas cada uno, aptas para el desarrollo de actividades forestales [1]. Tanto las plantaciones forestales comerciales como la industria maderera son nuevas en la Orinoquía y existe poca experiencia. Sin embargo, el departamento de Meta, por su interconexión con el centro del país es considerada como la zona con potencial industrial para la transformación de la madera producida en la región de la Orinoquia [3].

El municipio de Puerto López, por su estratégica ubicación de conexión entre el centro y sur del país, en las dos últimas décadas ha venido presentando una significativa expansión en algunos cultivos semipermanentes como es el caso de los forestales donde el caucho tiene un papel preponderante.

El Gobierno Colombiano, ha diseñado diversos incentivos de financiación para apoyar el desarrollo del sector forestal del país, siendo el Certificado de Incentivo Forestal (CIF), y el Incentivo a la Capitalización Rural (ICR), los más utilizados por los reforestadores. Estos incentivos han propiciado el crecimiento del área plantada en el país y con una mayor incidencia en la región de la Orinoquia.

Pese al crecimiento en el área cultivada con plantaciones forestales en la región de la Orinoquia, no existen registros oficiales referentes al área total plantada, que permitan monitorear la expansión de estos cultivos.

El uso de técnicas de teledetección tales como los análisis multi-temporales permiten la valoración y cuantificación de cambios en la cobertura del suelo, a partir de imágenes de satélite [4]. Los estudios multitemporales, se realizan a partir de imágenes satelitales, las cuales son capturadas por un sensor, que permiten la combinación de bandas para generar una nueva imagen con la cual se puede evaluar los cambios de cobertura en determinados periodos [5].

Para la obtención de información provenientes de sensores remotos es necesario realizar diferentes procesos de corrección y clasificación. Las técnicas de clasificación permiten que a cada píxel de una imagen le sea asignado una categoría particular en

un conjunto de categorías de interés ayudando a convertir los datos espectrales originales en mapas temáticos sencillos con la información relevante [6].

En el presente estudio tiene como objetivo evaluar la expansión del área cultivada con plantaciones forestales en el departamento de Puerto López para los años 2016 y 2020, a partir de un análisis multitemporal por teledetección usando imágenes Sentinel- 2, también se identificaron los patrones de las coberturas correspondientes de las especies: *Acacia mangium* Willd., (acacia), *Pinus caribaea* var. hondurensis (pino), *Eucalyptus* sp. (eucalipto) y *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg (caucho).

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizará en el municipio de Puerto López localizado entre las coordenadas geográficas 72° 24' y 73° 25' de longitud al oeste de Greenwich, y 3° 06' y 4° 44' de latitud norte. Su área es de 6248 Km² ; su altitud media es de 182 metros con relación al nivel del mar [7].

La precipitación media anual en Puerto López es de 2.588 mm, con un comportamiento monomodal, siendo los meses lluviosos de abril a julio y los secos de diciembre a marzo. La temperatura promedio es de 27° C, lo que indica una condición isohipertérmica [7].

Obtención de imágenes

Para el desarrollo del estudio, se obtuvieron imágenes satelitales Sentinel-2, que cubrieran el área del municipio de Puerto López, provenientes del portal Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) descargadas de la página <https://earthexplorer.usgs.gov> (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de imágenes satelitales

Sensor	Nombre	Fecha
SENTINEL 2	L1C_T18NYK_A026434_20200714T151708	2020-07-14
SENTINEL 2	L1C_T18NZK_A026434_20200714T151708	2020-07-14
SENTINEL 2	L1C_TL_MTI_20160117T152207_20160117T201320_A002_982_T18NZK_N02_01_01	2016-01-17
SENTINEL 2	L1C_TL_MTI_20160117T152207_20160117T201320_A002_982_T18NYK_N02_01_01	2016-01-17

Procesamiento de las imágenes

Como primer proceso, se realizó el *Layer Stack*, por medio del cual se combinaron las bandas (1, 2, 3, 4, 8 y 11). Posteriormente se realizaron los orto mosaicos para los periodos 2016 y 2020; seguido del corte del mosaico con el polígono del municipio de Puerto López.

Clasificación

A partir de la imagen generada en la etapa anterior, se procedió a la fotointerpretación y ubicación de las áreas con plantaciones forestales, que fueron utilizados como muestras de entrenamiento para la *Clasificación Supervisada*, siendo el método escogido para el desarrollo del estudio.

Fueron seleccionadas dentro de las imágenes, muestras de áreas con plantaciones conocidas con las especies forestales: *Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus sp.* y *Hevea brasiliensis*. A partir de estas imágenes, el clasificador del software ERDAS “Máxima verosimilitud”, por medio de algoritmos, determinó cuales pixeles representan valores de reflexión característicos para los tipos de cobertura de las plantaciones forestales identificadas.

Posteriormente se realizó la verificación visual las coberturas y se hicieron los ajustes a las firmas espectrales y al procedimiento de clasificación.

A las imágenes generadas por el clasificador para los dos periodos de estudio, se les realizó un proceso de generalización por medio de filtros como *Recode* para agrupar pixeles vecinos con ND iguales uniéndolos en una entidad. Finalmente se utilizó el filtro *Eliminate*, para eliminar los polígonos pequeños uniéndolos en polígonos más grandes.

Toda la base de datos fue padronizada en el sistema de referencia WGS-84 para la elaboración de los mapas de salida y con proyección cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator). Para la calibración final de los resultados fue empleado el software Arcgis 10.7

Por último, se caracterizó el comportamiento de la expansión de las plantaciones en el municipio por especie para los tres periodos de evaluación (2016 y 2020).

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A partir de los orto mosaicos generados con las imágenes Sentinel-2, de información secundaria y del conocimiento del área de estudio, se identificaron patrones visuales para la identificación de las especies *Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus sp.* y *Hevea brasiliensis*, en los dos periodos de evaluación. En la Figura 1, se presentan algunos de los patrones por medio de los cuales se realizaron las muestras de entrenamiento para la clasificación supervisada.

Las imágenes Sentinel-2, en la combinación de bandas de verdadero color (R,G,B) y la de falso color (NIR, R, G), permitieron la identificación de las plantaciones comerciales de las especies: *Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus sp.* y *Hevea brasiliensis*, tanto para edades jóvenes como para las maduras. En las imágenes de la figura 1, se pueden apreciar los patrones de crecimiento para las especies objeto de estudio.

2016

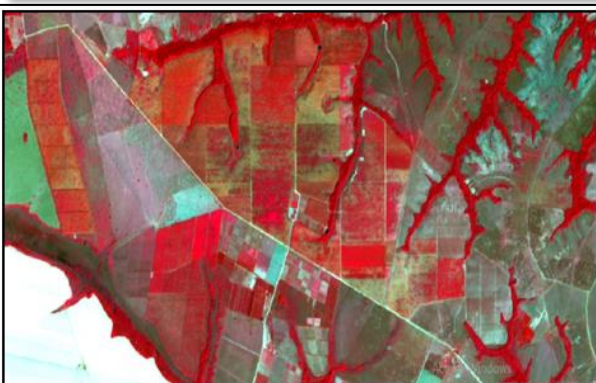
2020



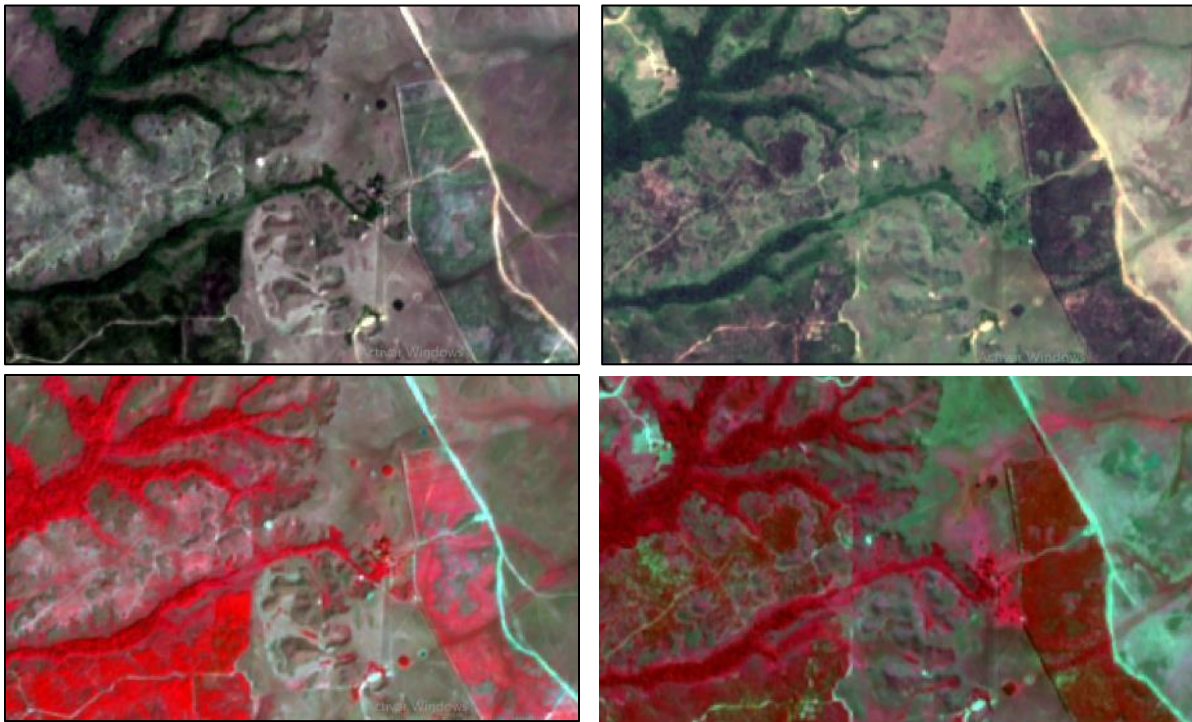
Pino (Pinus caribaea)



Acacia (Acacia mangium)



Caucho (Hevea brasiliensis)



Eucalipto (*Eucalyptus sp*)

Figura 1. Patrones de referencia para la clasificación de las especies: *Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus sp.* y *Hevea brasiliensis* en composición de bandas verdadero (R,G,B) y falso color (NIR, R, G).

La especie *Pinus caribaea*, se visualiza en tonos de morado claro (plantaciones jóvenes) y morado oscuro (plantaciones maduras), para la combinación de verdadero color (R, G, B). En la combinación de falso color (NIR, R, G), la especie presenta tonalidades de verde con matices rojos (plantaciones jóvenes) y rojo oscuro (plantaciones maduras).

La especie *Acacia mangium* se visualiza en tonalidades de entre verde y morado, en la combinación de verdadero color. En la combinación de falso color, las plantaciones jóvenes se observan en tonalidades rojizas brillantes, en cuanto que las maduras se visualizan en verde con matices rojas.

En la combinación de verdadero color, la especie *Hevea brasiliensis*, se presenta en tonalidades entre café y verde (plantaciones jóvenes), y en verde con una textura homogénea. En la combinación de falso color, la especie se observa en tonalidades de verde claro y rojo (plantaciones jóvenes) y en tonos de morado (plantaciones maduras).

La especie *Eucalyptus sp*, se visualiza en tonalidades de verde claro, y morado en verdadero color y en tonalidades de rojo y verde con matices rojas en falso color.

La aplicación de los filtros de generalización a la imagen clasificada, permitieron ajustar los resultados de la clasificación. Con el filtro *Recode* se agruparon los píxeles individuales que fueron clasificados erróneamente; posteriormente con el filtro *Eliminate*, se eliminaron los polígonos pequeños uniéndolos a los polígonos más grandes de la clase similar. En la Figura 2, se observan las diferencias entre los filtros aplicados a las imágenes clasificadas.

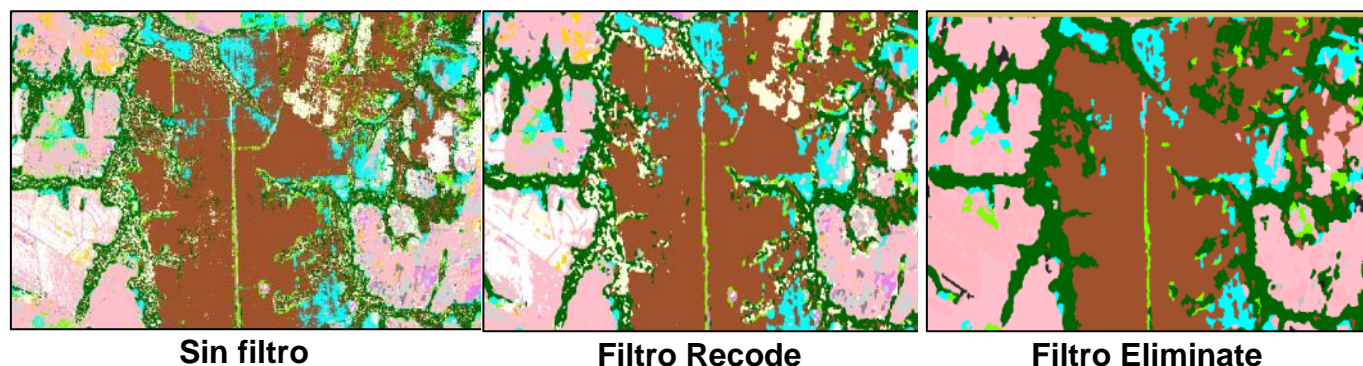
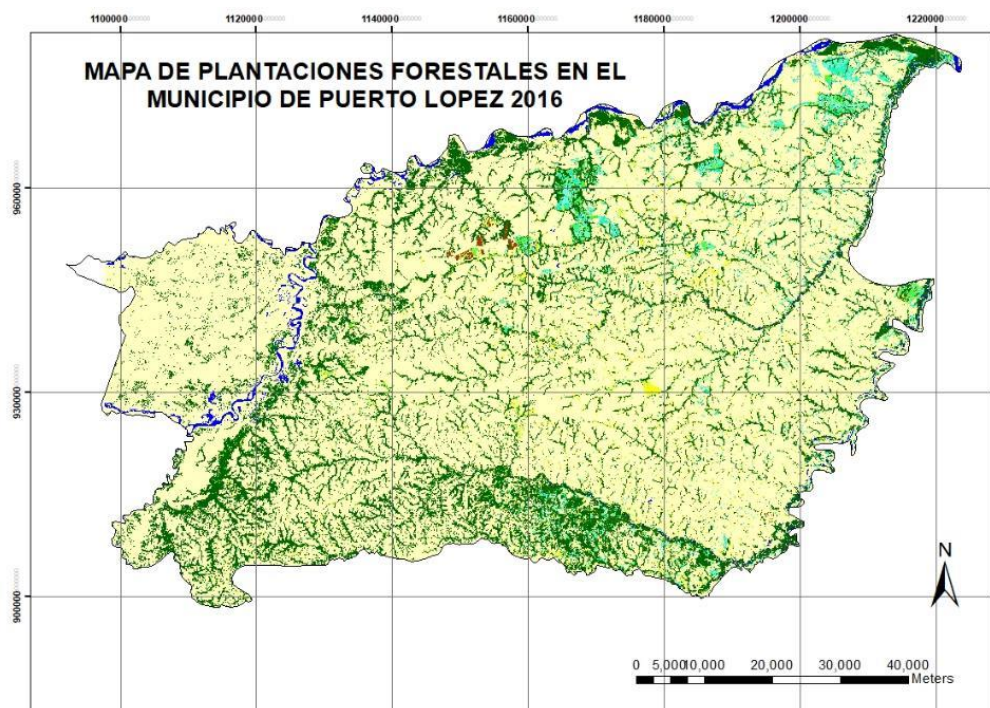


Figura 2. Resultados de la aplicación de filtros de generalización sobre imagen clasificada. Fuente: Autor.

Las imágenes resultado de la aplicación de los filtros, fueron convertidas de formato Raster a formato vector, siendo exportadas a archivos shapefile (.shp), para el cálculo de áreas y ajustes de edición.

Para la generación de los mapas de salida de la clasificación, solo se tuvieron presentes las áreas correspondientes a las plantaciones forestales, ríos y bosques naturales (Figura 3).



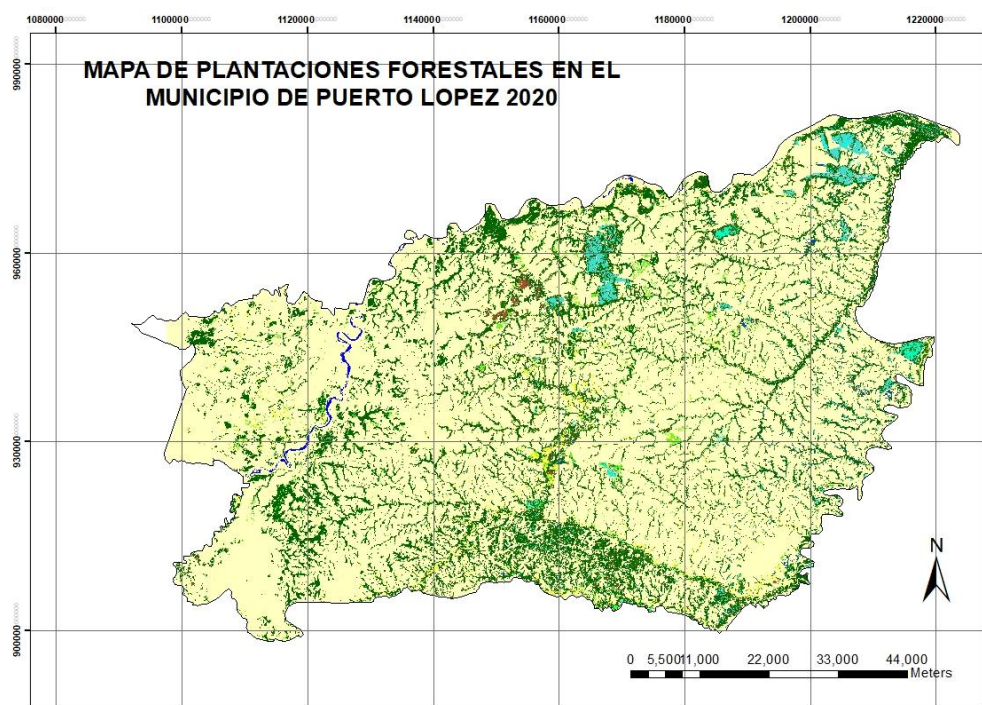


Figura 3. Mapas de clasificación de coberturas de plantaciones forestales para los años 2016 y 2020 en el Municipio de Puerto López, Meta.

Clasificación de coberturas



Análisis multitemporal

En la Tabla 2, se puede observar que para el 2016, en el municipio de Puerto López, se presentaba un área de 19.268 ha, sembradas con plantaciones forestales, donde la especie con mayor cobertura era *Hevea brasiliensis*, con el 63.6%, seguida del *Pinus caribaea* con el 23% del área total con este tipo de cultivos.

Tabla 2. Cobertura con plantaciones forestales en el municipio de Puerto López-Meta, para el año 2016

Especie	2016 (ha)	%
<i>Pinus caribaea</i>	4.436	23
<i>Eucalyptus sp</i>	1.800	9,3
<i>Hevea brasiliensis</i>	12.250	63.6
<i>Acacia mangium</i>	782	4,1
TOTAL	19.268	100

En la Tabla 3, se puede observar que para el 2020, se presentó una cobertura total con plantaciones forestales de 24.658 ha, donde el *Hevea brasiliensis* presentó el mayor porcentaje de área, con el 61.3% seguido del *Pinus caribaea*, que ocupó el 20.6%

Tabla 3. Cobertura con plantaciones forestales en el municipio de Puerto López-Meta, para el año 2020

Especie	2020 (ha)	%
<i>Pinus caribaea</i>	5.086	20.6
<i>Eucalyptus sp</i>	3.176	12.9
<i>Hevea brasiliensis</i>	15.120	61.3
<i>Acacia mangium</i>	1.276	5.2
TOTAL	24.658	100

Los resultados de los análisis muestran una buena dinámica en el crecimiento de los cultivos forestales en el municipio de Puerto López, con un aumento en el área para todas las especies. En la Tabla 4, se puede observar un el crecimiento en área cultivada entre el 2016 y 2020, con un aumento de 5.390 ha en un periodo de 4 años.

La especie *Hevea brasiliensis*, presento el mayor porcentaje de crecimiento en área entre los dos periodos evaluados, seguido del *Eucalyptus sp* con 53.2% y 25.5% respectivamente. En cuanto que la *Acacia mangium*, fue la especie que presentó

menor tasa de crecimiento en área entre los dos periodos, con un incremento del 9.2% respecto al total de las especies evaluadas.

Tabla 4. Crecimiento en área cultivada con especies forestales entre el 2016 y 2020

Especie	2016 (ha)	2020 (ha)	Ganancia (ha)	%
<i>Pinus caribaea</i>	4.436	5.086	650	12.1
<i>Eucalyptus sp</i>	1.800	3.176	1376	25.5
<i>Hevea brasiliensis</i>	12.250	15.120	2870	53.2
<i>Acacia mangium</i>	782	1.276	494	9.2
TOTAL	19.268	24.658	5.390	100

La clasificación supervisada a partir de imágenes Sentinel-2, y ajustada por medio de la fotointerpretación, permitió la identificación de las coberturas con plantaciones forestales, así como la cuantificación de las áreas. Liu et al. (2018), también obtuvo buenos resultados en la identificación de coberturas forestales a partir de imágenes Sentinel 1 y 2 en Wuhan, China, con precisiones del 54% [8]

Bolyn et al (2018), también evaluó el uso de imágenes Sentinel-2 para la cartografía forestal en la ecorregión de las Ardenas, en los países de Bélgica, discriminando 11 clases forestales, incluyendo una especie de pino, obteniendo un mapa forestal con una precisión general del 93,3% [9].

Las áreas obtenidas para la especie *Hevea brasiliensis*, son coherentes con los datos reportados para el municipio; de acuerdo con cifras del Ministerio de Agricultura, en Puerto López para el año 2017, se reportó un área cultivada de 12.528 ha [10]. Para las otras especies no se encontraron valores de referencia.

3. CONCLUSIONES

El resultado de la clasificación a partir de imágenes de satélite Sentinel_2, permite la identificación de coberturas con plantaciones forestales de las especies *Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus sp.* y *Hevea brasiliensis*, en etapas iniciales de crecimiento y en estado de madures, así como la cuantificación de las áreas.

Las imágenes Sentinel-2, en la combinación de bandas de falso color (NIR, R, G), fue efectiva para la identificación de las plantaciones forestales de las especies objetos de estudio, especialmente en las etapas iniciales de crecimiento.

Entre los años 2016 y 2020, se presentó un incremento de 5.390 ha en cultivos con plantaciones forestales en el Municipio de Puerto López, siendo la especie *Hevea brasiliensis* la que mayor área de expansión presentó.

Las técnicas de teledetección usadas en el presente estudio, tienen un gran potencial en la identificación de diferentes tipos de bosque, favoreciendo el seguimiento y monitoreo de coberturas forestales, ya sea para el manejo de los proyectos de reforestación comercial, como para la ordenación de los recursos forestales a escala local y regional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] UNIDAD DE PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA - UPR. Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales, escala 1:100.000. Memoria técnica. Bogotá D.C., 2014. 254p.

[2] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR 2019. Pacto por el crecimiento y la generación de empleo del sector forestal. <http://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2019/08/Pacto-por-el-crecimiento-y-para-la-generaci%C3%B3n-de-empleo-del-sector-Forestal-05.08.2019.pdf>

[4] PROFOR (2017). Situación actual y potenciales de fomento de plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia. Bogotá, Colombia.

[5] Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid, España: Ediciones Rialp S.A. Chuvieco, E. Fundamentos de Teledetección Espacial, Ediciones RIALP, S.A, 2da. Edición, Madrid, España.

[6] Torres, J (2017). Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la Reserva Forestal Protectora - Productora Casablanca” en Madrid Cundinamarca entre los años 1961 y 2015: Aportes para el Ordenamiento Territorial Municipal. Tesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 56-79p.

[7] Vicens L, (2009). Fuentes y Adquisición de Datos: Lección 9, Clasificación de Imágenes, Programa UNIGIS de Postgrado y Master Internacional a distancia en Sistemas de Información Geográfica. UNIGIS Girona, Universidad de Girona.

[8] Liu, Y., Gong, W., Hu, X., & Gong, J. (2018). Forest type identification with random forest using Sentinel-1A, Sentinel-2A, multi-temporal Landsat-8 and DEM data. Remote Sensing, 10(6). <https://doi.org/10.3390/rs10060946>

[9] Corentin Bolyn, Adrien Michez, Peter Gaucher, Philippe Lejeune & Stéphanie Bonnet. (2018). Forest mapping and species composition using supervised per pixel classification of Sentinel-2 imagery. BASE [En ligne], Volume 22, Numéro 3, URL : <https://popups.uliege.be:443/1780-4507/index.php?id=16524>.

[10] MINSSTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR 2018.
CADENA DE CAUCHO NATURAL Indicadores e Instrumentos Enero 2018.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Caucho/Documentos/2018-01-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>